

〈論 文〉

자동차 실내소음의 능동제어를 위한 고속 이산 신호처리 장치 개발

Development of High Speed Digital Signal Processing Unit for Active Control of Noise Fields in Passenger Car

김 인 수* · 이 강 모** · 허 현 무*** · 홍 석 윤***
Kim In-Soo, Lee Kang-Mo, Heo Hyeon-Moo, Hong Suk-Yoon

〈1995년 12월 11일 접수 ; 1996년 3월 30일 심사완료〉

Key Words : Active Noise Control : ANC(능동소음제어), Microprocessor(마이크로프로세서), Bus Control(버스제어), External/Internal Memory(외부/내부 메모리), Adaptive Controller(적응제어기)

ABSTRACT

Active noise control(ANC) requires the full capability of a modern digital signal processing module. This paper describes the digital signal processing unit which is designed for ANC of noise fields in passenger car. System hardware is designed to allow software controlled versatility as well as fully automatic operation. The developed system is provided with the ability to be self-operated except the case of upload/download of data and program between the personal computer and the system memory. Experimental results are presented to demonstrate ANC performance of noise fields in lightly damped enclosure and passenger car.

1. 서 론

최근의 이산신호처리장치의 발전에 힘입어, 음파의 중첩원리에 기초한 능동소음제어 방법은 제어대상 소음이 수백 헤르츠(hertz) 이하의 저주파 영역에 존재하는 경우에는 경제성 및 효율면에서 유용한 소음제어 방법으로 정착되어 가고 있다. 관내의 소음과 같이 1차원적 음파전파특성을 갖는 소음의 능동제어 방법에 대해서는 반세기이상에 걸쳐, 많은 연구결과가 발표되어 있다⁽¹⁻³⁾. Burgess⁽⁴⁾, Eriksson⁽⁵⁾ 등은 filtered-x 및 filtered-u LMS 알고리즘에 기초한 적응 앞먹임제어기가 환경변화에 의해 유발되는 음향계의 동특성 변화에 효율적으로 적용될 수 있

음을 실험 및 이론적으로 보이고 있다.

승용차 및 항공기등의 실내소음에는 음향계의 모드특성이 나타나므로 기존의 1차원 소음제어방식을 그대로 적용할 수 없게 된다. 이에 따라 상태공간모델에 기초한 최적 제어기법 또는 최소분산제어기법(minimum variance control)등을 능동소음제어에 적용하는 방법이 Dohner, Shoureshi 등에 의해 제안되었다⁽⁶⁻⁹⁾. 이 밖에 밀폐공간내 소음제어를 위해 뒤먹임 및 앞먹임 적응제어기가 결합된 구조의 능동소음제어기에 대한 연구도 진행되고 있다⁽¹⁰⁾.

밀폐공간의 이산 능동소음제어기는 Nyquist 샘플이론에 따라 통상 수천헤르츠 샘플주파수로 운영되어야 하나, 음향계의 잔향시간등으로 인하여 비교적 높은 차수의 필터계수를 갖는 제어기가 요구되며, 제어기의 학습단계에서 필요한 부가적인 연산소요량이 많게 된다. 이에따라 고속의 연산속도 및 효율적인 데이터 관리능력을 지닌 소수연산이 가능한 고속 마이크로프로세서가 이산제어기로서 사용되어야 한

*정회원, 금오공과대학교 정밀기계공학과
**일전전자
***정회원, 고등기술연구원 자동차기술연구실

다. 현재 상기의 요건을 충족시키는데 이산신호처리장치로서 외국에서 도입된 몇가지 범용성의 모델이 국내에 유통되고 있다. 그러나 이들은 모두 개인용 컴퓨터에 장착하여 사용되어야만 하고 입출력장치의 수가 상당히 제한되어 있다. 또한 스피커의 파워 증폭기, 저주파통과(low-pass)필터 및 신호증폭기등과 같은 능동소음제어기를 구성하는데 필요한 부가적인 전기요소가 미비함으로 인하여 실제차량내의 능동소음제어기 구현을 위해서는 부적합한 실정이다⁽¹¹⁾.

이같은 문제점을 해결하려는 노력의 일환으로, 본 논문에서는 차량내 실내소음 제어기 구현에 적합하도록 설계, 제작된 고속 이산신호처리장치를 소개하기로 한다. 아울러 장치운영의 효율성 및 유연성을 부가하는데 중점을 두고 설계된 관련 소프트웨어도 설명하기로 한다. 개발된 이산신호장치의 주요특징은 보조 마이크로프로세서를 이용하여 주 마이크로프로세서를 조절할 수 있도록 함으로써 프로그램 및 데이터의 교환(upload/download)이외에는 개인용 컴퓨터와 독립적으로 운영될 수 있도록 하였다는 점이다.

끝으로 개발된 장치를 이용하여 승용차의 엔진 부밍(booming)소음을 제어한 결과를 기초로 하여 개발된 장치의 성능평가를 한다. 아울러 감쇠가 적은 밀폐음향계에 대한 능동소음제어기로서 적용하여 봄으로써 개발된 장치의 적용범위 확대 가능성을 검토해 보기로 한다.

2. 고속 이산신호처리장치의 설계

2.1 능동소음제어기 적응기법 검토

실내 소음저감을 위한 능동소음제어기의 설계시에 주요 고려사항은 다음과 같다. 첫째로 주위환경의 변화에 따른 음향계의 동특성 변화가 민감하므로 능동 소음제어기에는 음향계 변화에 적응할 수 있는 학습기능이 통상 필요하다. 둘째로 감쇠가 작은 모드 특성을 나타내는 밀폐음향계의 경우에는 FIR (finite impulse response) 필터로 음향계를 모델링하기 위해서는 높은 차수의 모델이 필요하게 된다. 셋째로 밀폐공간의 기하학적 형상 및 크기에 따라 차이가 있지만 대부분 수백 헤르츠이내의 주파수 대역내에서도 주파수가 높아질수록 모드들의 밀집도가 높아지고 또한 전기적 신호전달시간에 비해 상대적으로 음파의 전파과정에 소요되는 시간지연효과가 크다.

(1) 감쇠가 큰 음향계의 경우 :

제어기는 앞먹임 제어기 만으로 이루어진다. 제어기 적응은 현재 광범위하게 이용되고 있는 다음과 같은 filtered-x LMS에 기초하여 수행된다(Fig. 1 참조).

$$w(k+1) = \underline{w}(k) - 2\eta e(k) \hat{h} * \underline{d}(k) \quad (1)$$

여기서 $k, k+1$ 는 적응단계, η 는 수렴상수, $(*)$ 는 상승적분(convolution integral)을 표시한다. \hat{h} 는 제어 스피커에서 오차마이크로폰까지의 오차계 전달함수 $H(s)$ 의 FIR 필터 형식 모델이고 s 는 Laplace변수이다. $\underline{d}(k)$ 는 원소음 기준신호 벡터이다. 식 (1)로부터 앞먹임 제어기 \underline{w} 를 적응시키기 위해서는 \hat{h} 가 필요함을 알 수 있다. 앞먹임 제어기의 구동에는 원소음과 깊은 상관관계를 갖는 기준신호(Fig. 2의 d)가 필요하며, 이를 위해 원소음원에 근접하여 측정된 진동, 소음신호 등이 이용될 수 있다.

M 개의 제어스피커 및 N 개의 오차마이크로폰을 사용하는 경우에, 식 (1)은 다음과 같은 다중(multiple) filtered-x LMS 알고리즘으로 확장 가능하다⁽¹²⁾.

$$w_m(k+1) = \underline{w}_m(k) - 2\eta \sum_{n=1}^N \rho_m e_n(k) \hat{h}_{mn} * \underline{d}(k), \quad m=1,2,\dots,M \quad (2)$$

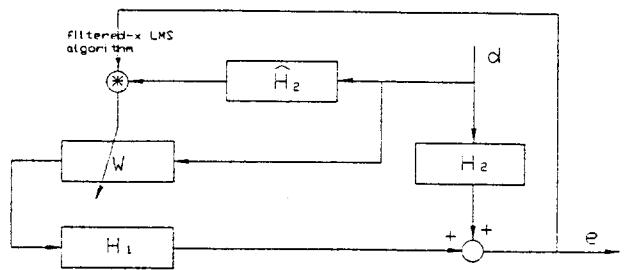


Fig. 1 Block diagram of feedforward active noise controller

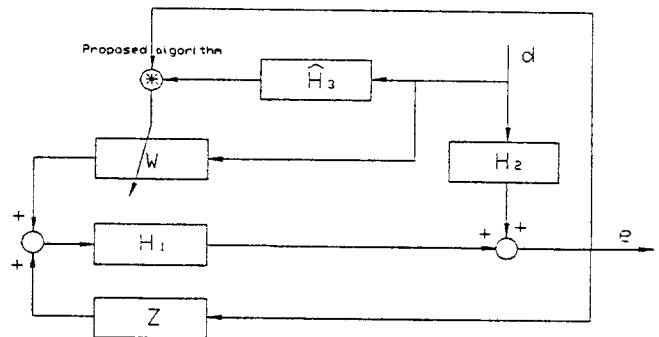


Fig. 2 Block diagram of active noise controller with feedforward and feedback loops

여기서 w_m 은 m 번째 스피커를 위한 앞먹임 제어기, e_n 은 n 번째 오차 마이크로폰 신호이다. \hat{h}_{mn} 은 m 번째 스피커가 n 번째 오차 마이크로폰 사이의 FIR 필터형식의 모델이다. ρ_m 은 n 번째 오차 신호에 대한 수렴계수의 가중치이다.

(2) 감쇠가 작은 음향계의 경우 :

식 (1)의 오차계 모델 \hat{h} 에는 스피커, 스피커에서 마이크로폰까지의 음향계 및 마이크로폰 특성 등이 포함된다. 감쇠가 작은 밀폐공간에서는 입사된 소음이 벽면에서 반사되므로 잔향음이 오래 지속되어 이를 FIR 필터로 모델링하기 위해서는 높은 필터차수가 요구된다. 제어기 구현에 필요한 마이크로프로세서의 연산능력의 한계로 \hat{h} 의 차수는 한정될 수 밖에 없으므로, \hat{h} 의 모델오차는 커지게 되고 이에 따라 앞먹임 제어기는 수렴되지 못할 수도 있다. 이같은 문제점을 해결하기 위한 하나의 방법으로, 제어기를 앞먹임 제어기 $W(s)$ 와 되먹임 제어기 $Z(s)$ 가 합성된 구조로 설계한다. Fig. 2는 이같은 구조의 능동소음제어계의 블럭선도를 보인 것이다.

되먹임 제어기는 특정 모드의 감쇠능이 향상되도록, 즉 되먹임 제어계가 적절한 과도응답특성을 갖도록 IIR(infinite impulse response) 필터로 모델링된 오차계 및 원소음계를 기초로하여 설계한다. 공진주파수 근처의 협대역 소음제어만을 위해서라면 되먹임 제어기만으로도 효과적인 소음제어를 기할 수 있다. 그러나 광대역의 소음에 대해서도 능동제어를 효율적으로 수행하고 밀폐음향계의 환경변화에도 제어기의 성능을 유지하기 위해서는, 적응 앞먹임 제어기를 되먹임 제어기에 결합시키는 것이 바람직하다.

Fig. 2의 블럭선도로부터 잔류소음 $e(s)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$e(s) = H_3(s)W(s)d(s) + \frac{H_2(s)d(s)}{1 - \hat{H}_1(s)Z(s)},$$

$$H_3(s) = \frac{H_1(s)}{1 - \hat{H}_1(s)F_2(s)} \quad (3)$$

여기서 $H_2(s)$ 는 원소음계의 전달함수, $H_3(s)$ 는 Fig. 3의 점선으로 표시된 되먹임 제어계의 전달함수이다. 앞먹임 제어기 w 는 최급강하법(steepest descent method)에 기초하여 다음과 같이 회귀적으로 적용된다⁽¹⁰⁾.

$$w(k+1) = w(k) - 2\eta e(k) \hat{h}_3 * d(k) \quad (4)$$

여기서 \hat{h}_3 는 $H_3(s)$ 의 FIR필터 형식 모델로서 앞먹임 제어기의 적용시에 \hat{h}_3 를 통해 되먹임 제어기 효

과가 자동적으로 고려됨을 알 수 있다. 오차계 $H(s)$ 에 비해서 되먹임 제어계는, 되먹임 제어계의 총 격응답 지속시간이 구동계에 비해 짧아지도록 되먹임 제어기가 이미 감쇠비를 증가시켰기 때문에 낮은 차수의 FIR 필터로 모델링이 가능함을 유의해야 한다.

2.2 시스템 설계

상기의 이유로 인하여 능동소음 제어기로는 비교적 높은 차수의 적응필터가 사용되어야 하며, 이의 실시간 구현을 위한 마이크로프로세서는 고속연산기능을 가져야한다. 또한 제작된 이산처리장치는 하드웨어 및 소프트웨어면에서 감쇠가 작은 음향계와 감쇠가 비교적 큰 음향계 모두에 편리하게 적용될 수 있도록 다음과 같이 설계하였다.

(2) 하드웨어

고속연산 및 데이터처리에 적합하도록 다양한 명령어 세트를 갖춘 TI사의 TMS320C31 마이크로프로세서⁽¹³⁾를 능동소음제어기용 연산장치로 선택하였다. 이것의 주요특징은 다음과 같다.

- 32비트(bit) 소수연산자, 33.3 MFLOPS
- 2k 워드(word=32bits) 내부메모리
- 원형주소지정방식(circular addressing) 및 병렬연산처리(parallel operation)

이상의 특징으로 인하여, 이것은 능동소음제어기의 학습시에 요구되는 매 샘플시 마다의 데이터의 갱신 및 필터계수의 적응을 효율적으로 수행할 수 있다. Fig. 3은 개발된 하드웨어의 블럭선도를 보인 것이며, 구체적인 회로도 는 부록 1~2에 나타낸다. 입출력장치의 수는 차후 필요시에 확장가능하도록 하였다. 블럭선도에서 알 수 있는 바와 같이 하드웨어는 다음과 같은 요소로 구성되어 있다.

1) 주 마이크로프로세서(TMS320C31) : 이산 능동소음제어기의 기능을 하며, 내부메모리에 이를 위한 프로그램 및 데이터를 저장한다.

2) 보조 마이크로프로세서(Intel 8751) : RS-232C 직렬통신을 이용하여 개인용 컴퓨터와 외부 메모리 사이에 프로그램 및 데이터를 상호교환하는 역할을 하는 8bit 프로세서이다⁽¹⁴⁾. 아울러 주 마이크로프로세서의 제어기능을 한다. 이들 기능을 수행하기 위한 프로그램은 보조 마이크로프로세서의 내부 프로그램메모리(4k byte EPROM)에 장착된다.

3) 외부 메모리 : 2개의 마이크로프로세서에 의해 공유되는 RAM(8k word)으로서 전원이 공급되지 않는 경우에도 데이터가 보존되는 백업(back-up)

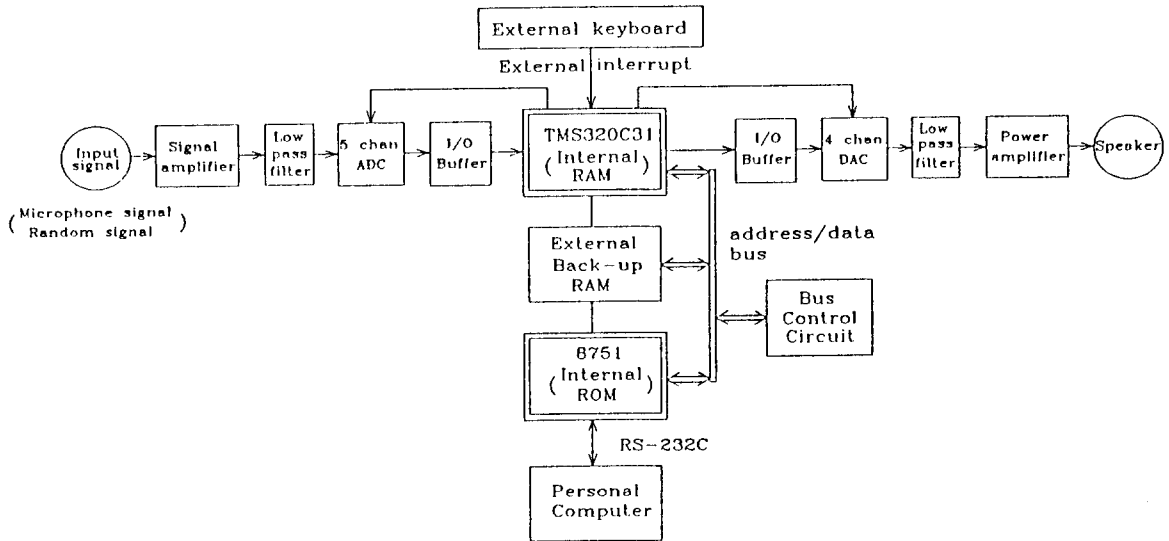


Fig. 3 Schematic diagram of digital signal processing unit developed for active noise control

기능이 있다.

4) A/D변환기 : 12bit 분해능을 갖으며, 다중의 신호를 동시 샘플링하기 위하여 독립적인 5개의 A/D 변환기를 사용하였다. A/D변환기의 각 입력 단자에는 가변이득을 갖는 신호증폭기 및 5차의 저주파 통과필터⁽¹⁵⁾가 부착되어 있다. 샘플링 주기는 내부 타이머 조정을 통해 결정된다.

5) D/A변환기 : 4채널의 16bit 분해능을 가진다. D/A변환기의 각 채널에는 5차의 저주파 통과필터 및 스피커를 구동할 수 있는 2.3와트(watt)의 파워 증폭기가 부착되어 있다.

6) 외부 키보드(keyboard) : 개인용 컴퓨터와 분리되어 본 장치를 독립적으로 운영하기 위한 것으로서, 주 마이크로프로세서의 외부 가로채기(interrupt) 단자에 부착된다.

7) 버스(bus) 제어회로 : 회로도에서 알 수 있는 바와같이 주소 및 데이터 버스를 주 마이크로프로세서와 보조마이크로 프로세서가 공유하고 있다(부록 1~2 참조). 이에따라, 버스 통제권을 수행작업에 따라 2 프로세서 중의 하나에 할당해주어 버스통제권이 할당된 프로세서가 작업을 수행하는 동안 다른 프로세서는 정지상태에 있도록 하는 역할을 버스제어회로에서 수행한다. Fig. 4는 상기의 요소들에 대한 TMS320C31에 대한 주소분할표를 보인 것이다. 이로부터 알 수 있는 바와 같이, 주소 0H~1FFFH (8k word)영역은 외부메모리의 주소영역으로서 주 마이크로프로세서와 보조 마이크로프로세서가 공유하며, 32비트의 주 마이크로프로세서의 하나의 주소

는 8비트의 보조 마이크로세서의 4개의 주소에 해당된다. 주 마이크로프로세서의 가로채기 벡터 및 초기화 관련 프로그램 영역(0H~3FFH)에 대해서는 주 마이크로프로세서는 읽기만이 가능하게 하였고, 같은 영역에 대해 보조 마이크로세서는 읽기와 쓰기 모두 가능하게 하였다. 이상에 관련된 구체적인 회로는 프로그램가능한 논리소자(programmable arithmetic logic)를 이용하여 구성하였다. 이밖에 자동차 배터리로부터 이산처리장치의 운영에 필요한 모든 전원을 취하기 위하여 전원공급부가 구성되었으며, 전자회로의 안정성을 위하여 전원공급부는 신호처리부와 분리(isolation)하였다.

(2) 소프트웨어

소프트웨어는 2가지의 작업기능으로 대별된다. 첫째는 장치의 운영에 관련된 것으로서, 보조 마이크로프로세서의 프로그램 메모리(EPROM)에 내장된 것과 개인용 컴퓨터 상의 관련 파일로 구성된다. 둘째는 능동소음제어기에 관련된 것으로서 외부메모리에 저장되며, 필요시에 주 마이크로프로세서의 내부 메모리로 복사된 후, 주 마이크로프로세서에 의해 수행된다. 외부메모리의 접속시간(wait time)은 3클럭(clock)으로 설정하였다. 이로 인하여 주 마이크로프로세서가 외부 메모리 상에서 동작하는 경우에는 연산속도면에서 약간의 손실이 초래된다.

장치운영에 관한 작업내용은 프로그램 장착, 데이터 상호교환(down-load/up-load), 소음제어 프로그램 실행, 소음제어 프로그램 정지, 작업종료 등으로 이루어져 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 소음제어

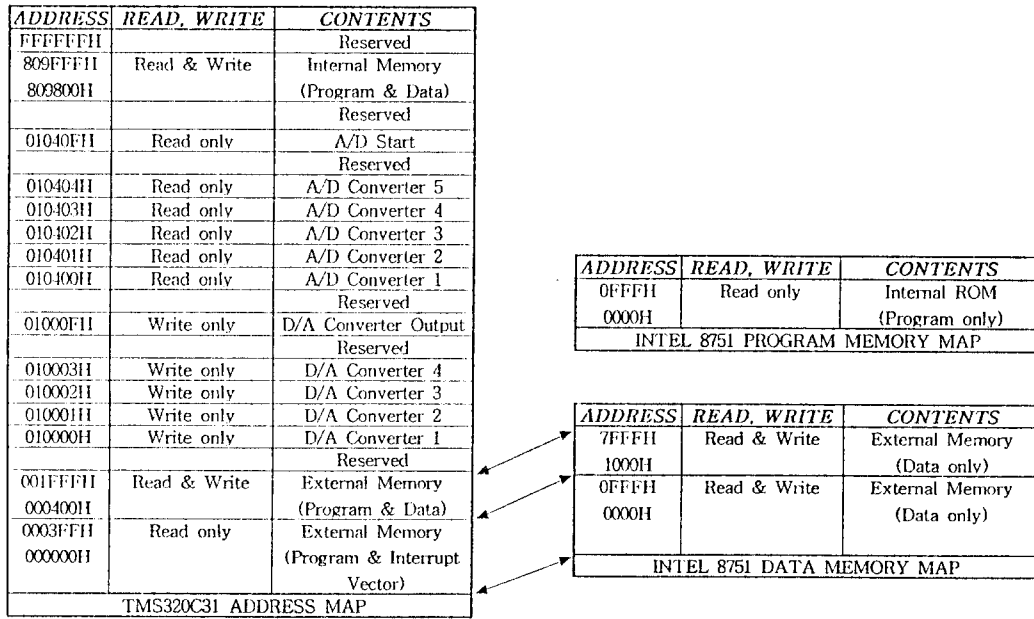


Fig. 4 Address map of main processor and auxiliary processor

프로그램 실행명령이 주어진 경우에는 버스통제권은 주 마이크로프로세서에 넘겨지며, 소음제어 프로그램 정지 명령을 통해 보조 마이크로프로세서로 버스 통제권이 복구된다. 명령어 입력은 개인용 컴퓨터와 보조 마이크로프로세서 사이의 RS-232C통신을 통해 이루어진다. 프로그램의 장착 및 데이터의 교환에는 TI사의 코드 및 데이터 체계와 Intel사의 코드체계사이의 상호 변환하는 작업이 개인용 컴퓨터상에서 자동적으로 수반되게 하였다.

이산 능동소음제어기는 되먹임 제어기 및 앞먹임 제어기가 결합된 구조⁽¹⁰⁾로 설계하였다. 되먹임 제어기는 IIR필터 형식을 갖게 하였으며, 되먹임 제어기 설계루틴에는 원소음계 및 오차계의 모델연산 및 최소 분산 제어기법^{(9),(16)}에 기초한 제어기 설계과정을 포함한다. 여기서, 원소음계는 원소음원에서 마이크로폰까지의 전달함수이고, 오차계에는 제어용 스피커에서 마이크로폰까지의 음향계 및 스피커 구동을 위한 전기계의 특성이 포함되며 이들 모델에 기초하여 되먹임 제어기는 설계된다⁽⁵⁾. 앞먹임 제어기는 다중 입출력계를 고려하여 다중 filtered-x LMS알고리즘⁽⁴⁾에 의해 필터계수가 적응될 수 있도록 하였으며 제어기의 수 및 제어기의 차수 등은 사용자가 입력하도록 한다. 단, 제어대상의 음향계의 감쇠가 충분히 큰 경우에는 되먹임 제어기와 관련된 과정(routine)은 수행되지 않도록 하였다.

능동소음제어에 관련된 작업은 다음의 일련의 과

정을 통하여 이루어진다.

- 1) 주 마이크로프로세서 및 주변 입출력장치의 초기화
- 2) 외부메모리로부터 내부메모리로의 모델링 및 제어기 관련 서브루틴의 복사
- 3) 외부 키보드로부터의 인터럽트를 통한 명령대기

4) 명령(모델링, 제어기구동, 정지)의 수행

오차계 및 원소음계의 모델링 :

- 소음계 및 오차계의 동작, 이때의 기준 입력신호 및 출력신호(마이크로폰 신호)의 취득

- 2계의 IIR필터 형식의 모델링 및 되먹임 제어기의 설계

- 되먹임 제어기를 포함하는 오차계에 대한 모델(FIR필터)계수의 연산

능동소음제어 :

- 기준 입력신호 및 출력신호의 취득

- 되먹임 제어기와 앞먹임 제어기의 제어출력 연산

- 앞먹임 제어기의 적응화

3. 실험 및 성능평가

Fig. 5는 본 장치의 성능평가를 위해 사용된 단순화된 능동소음제어계를 보인 것이다. 밀폐공간은 137×70×50cm³ 크기의 직육면체로 구성되었고, 이에 따라 1차 음향 모드의 주파수는 124Hz이다. 원

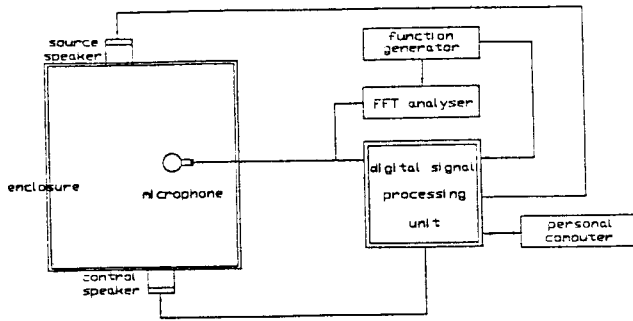


Fig. 5 Experimental set-up for lightly damped enclosure

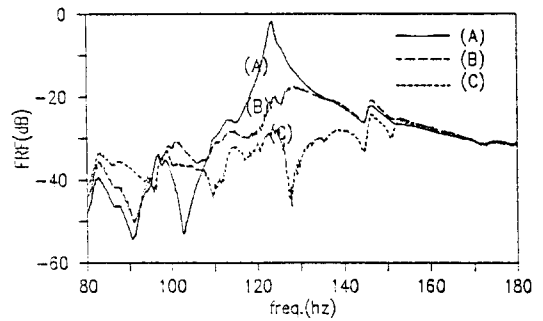


Fig. 6 Experimental result for an active controller of the noise fields in lightly damped enclosure

소음은 신호발생기로 부터의 80~180Hz 범위의 랜덤신호를 이용하여 발생시켰다. 마이크로폰(한음파, ECM)에는 임피던스조절장치를 부착하여 DC편차를 제거하였다. FFT분석기(HP3563A)는 능동소음제어 효과를 분석한다.

Fig. 6은 제작된 장치를 이용하여 얻어진 능동소음 제어결과 보인 것으로서 (A)는 제어가 작동되지 않은 상태에서의 원소음 기준신호(신호발생기의 출력신호)와 마이크로폰 사이의 전달함수이다. (B)는 앞먹임 제어기만에 의한 소음저감 결과를 보인 것이다. (C)는 5분 이상의 시간이 경과되어 앞먹임 제어가 정상상태에 도달한 경우의 결과로서, 앞먹임 제어가 적절히 적응되고 있음을 보이고 있다. 앞먹임 제어기의 적응시작 후 수초내에도 상당한 제어 효과가 얻어지게 됨도 확인되었다. 위의 실험을 위한 프로그램은 주 마이크로프로세서의 내부메모리상에서 수행되었으나, 2k 헤르츠 정도의 샘플 주파수 내에서는 외부 메모리상에서 직접 수행할 수 있었다.

Fig. 7는 승용차(대우자동차, 에스페로)의 엔진부밍(booming)에 의해 유발된 실내소음의 저감을 위해, 제작된 이산 신호처리 장치가 사용된 능동소음 제어계를 보인 것이다. 4개의 오차 마이크로폰(한음파, ECM)이 승용차의 상단 4곳에 설치하였고, 소음제어 결과의 측정을 위해 4좌석에 설치한 마네킹의 귀부분에 측정용 마이크로폰을 고정하였다. 제어 스피커로는 차내에 설치된 기존의 4개 스피커를 이용하였다. 제어기로는 3개의 64차수의 FIR 필터 형식의 앞먹임 제어기를 이용하였고, 이에 따라 후부에 설치된 2개의 스피커는 하나의 제어기로 구동하였다. 제어기의 적응은 제어시작 전에 모델링된 12개의 오차계 모델(각 64차의 FIR 필터)을 이용하여 다중 filtered-x LMS알고리즘에 의해 수행하였다. 기준입력신호로는 승용차 제어장치부의 점화코일 신호(ignition signal)를 개발된 장치의 필터를 통과시켜 사용하였다. 필터의 주파수대역은 엔진의 최대 회전수(rpm)의 2배수 주파수성분을 고려하여 250헤르츠 이하로 하였다.

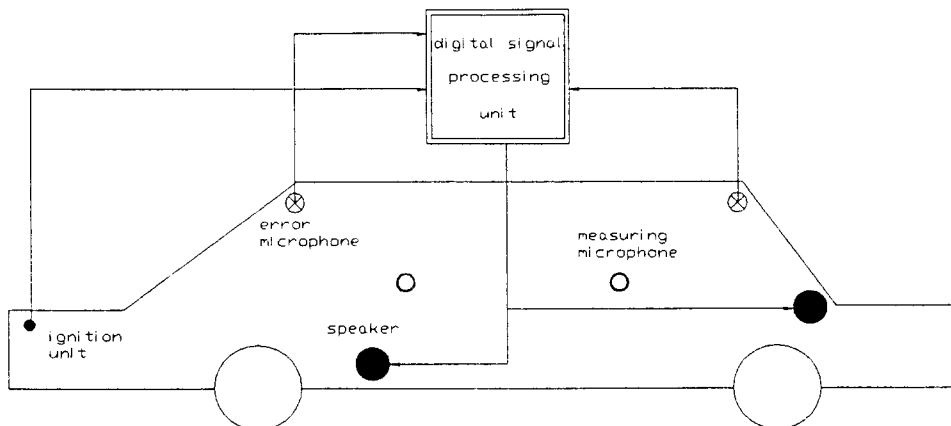


Fig. 7 Experimental set-up for passenger car

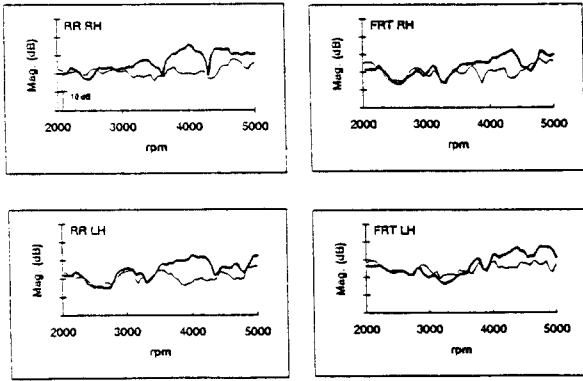


Fig. 8 ANC performance at error microphones in passenger car

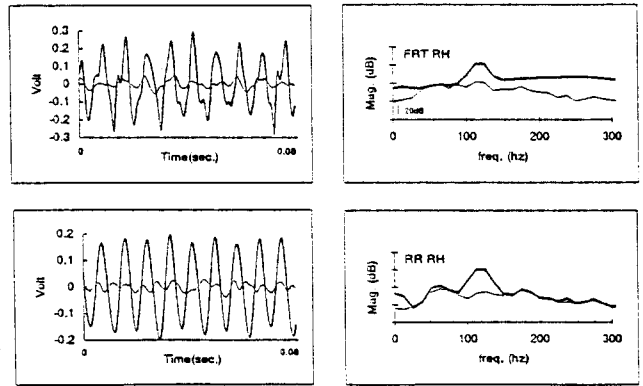


Fig. 10 ANC performance at error microphones in passenger car during single RPM

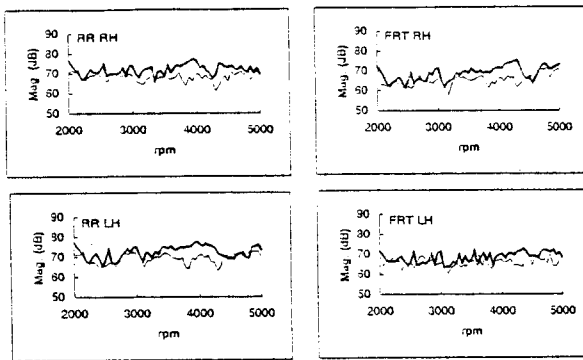


Fig. 9 ANC performance at head rests in passenger car

Fig. 8은 엔진의 회전수를 점차 증가(idle sweeping)시키는 동안 얻어진 소음제어결과를 4개의 오차 마이크로폰에서의 신호의 크기로 보인 것이다. 회전수가 3200rpm 이상에서 5000rpm 범위에서 최대 20 dB의 소음저감이 이루어졌음을 알 수 있으며, 저속의 rpm에서는 소음레벨이 낮은 관계로 소음저감이 이루어지지 않은 것으로 사료된다. Fig. 9는 동일한 제어실험시에 얻어진 4곳의 좌석위치(head rest)에서의 소음저감을 보인 것으로서 최대 10dB 정도의 소음저감이 이루어져 있음을 알 수 있다. 오차 마이크로폰 위치에 비해 좌석위치에서 소음저감 정도가 전반적으로 낮은 것은 제어기자체가 오차 마이크로폰 위치에서의 소음을 최소화 시키도록 적용되기 때문이다. Fig. 10은 엔진의 회전수가 3500rpm으로 고정된 경우에 우측의 전후부에 설치된 오차 마이크로폰의 신호를 보인 것으로서 25dB이상의 소음저감이 얻어졌음을 알 수 있다. Fig. 7의 결과에 비해 좋은 제어결과를 나타내는 것은 제어기의 적용에 필요한 충분한 시간이 확보된 것(수초내이지만)으로 사료된다. 앞좌석에 비해 뒷좌석에서 제어결과

가 약간이나마 우수한 것은 뒷좌석에서 스피커의 위치, 오차 마이크로폰의 위치 및 좌석위치들 사이의 거리가 앞좌석에 비해 짧은 것이 중요 요인 중의 하나가 된 것으로 사료된다. 아울러 후부에 설치된 2개의 스피커를 독립적으로 작동시킨 상태에서의 제어결과는 앞에서 언급된 제어결과와 별다른 차이가 없었다.

4. 결 론

취급의 용이성 및 편리성에 주안점을 두고 설계, 제작된 자동차 실내소음 저감을 위한 고속의 신호처리 장치의 하드웨어 및 소프트웨어의 구조에 대해 소개하였다. 제작된 장치의 성능평가를 위해 실시된, 감쇠비가 작은 단순실내의 능동소음에 대한 제어결과 및 승용차 엔진부밍소음의 제어결과로부터, 본 장치가 향후의 자동차를 포함한 밀폐공간내의 능동제어에 적절히 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- (1) I.C. Sterns and K.K. Ahuja, 1991, "Recent Advances in Active Noise Control," AIAA Journal, Vol. 29(27), pp. 1058~1067.
- (2) 이종식, 1990, "공조관용 능동소음제어기 개발," 한국소음진동공학회 추계 학술대회, pp. 47~50.
- (3) In-Soo Kim and Kwang-Joo Kim, 1994, "Active Control of Cross Mode Waves in Rectangular Ducts," Mechanical Systems and Signal Process-

- ing, Vol. 8(1), pp. 93~107.
- (4) J. Burgess, 1981, "Active Adaptive Sound Control in a Duct: A Computer Simulation," Journal of Acoustical Society of America, Vol. 70(3), pp. 715~725.
- (5) L.J. Eriksson, M.C. Allie and R.A. Greiner, 1987, "The Selection and Application of an IIR Adaptive Filter for use in Active Sound Attenuation," IEEE Transaction on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol. ASSP-35, pp. 433~437.
- (6) J.L. Dohner and R. Shoureshi, 1989, "Modal Control of Acoustic Plants," ASME, Journal of Vibration, Acoustics, Stress and Reliability in Design, Vol. 111, pp. 326~330.
- (7) C.G. Mollo and R.J. Bernard, 1987, "A Generalized Method for Optimization of Active Noise Controllers in Three-Dimensional Spaces," AIAA Aeroacoustics Conference, California, pp. 1~9.
- (8) S.J. Elliot, A.R.D. Curtis, A.J. Bullmore and P.A. Nelson, 1987, "The Active Minimization of Harmonic Enclosed Sound Fields, Part III : Experimental Verification," Journal of Sound and Vibration, Vol. 117(1), pp. 35~58.
- (9) R. Shoureshi, L. Brackney, N. Kubota and G. Batta, 1993, "A Modern Control Approach to Active Noise Control", ASME, Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Vol. 115, pp. 673~678.
- (10) 김인수, 김영식, 홍석윤, 허현무, 1994, "앞먹임/뒤먹임 제어기를 이용한 밀폐공간내 소음의 능동제어, "한국소음진동공학회지, 제 4 권, 제 4 호, pp. 497~505.
- (11) M.C. Allie, C.D. Bremigan, L.J. Eriksson and Greiner, 1988, "Hardward and Software Considerations for Active Noise Control," IEEE Conference on ASSP, April 11-14, New York.
- (12) S.J. Elliott, I.M. Stothers and P.A. Nelson, 1987, "A Multiple Error LMS Algorithm and Its Application to the Active Control of Sound and Vibration," IEEE Transaction on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol. ASSP-35, pp. 1423~1434.
- (13) Texas Instruments, 1993, TMS320C3X User's Guide, Texas Instruments Inc.
- (14) 나종래, 문세홍, 1993, 인텔 8051 구조와 설계 응용, Ohm사, 서울.
- (15) A.B. Williams, 1981, Electronic Filter Design Handbook, McGraw-Hill, New York.
- (16) K.J. Astrom and B. Wittenmark, 1989, Adaptive Control, Addison-Wesley, Massachusetts.

부 록 1

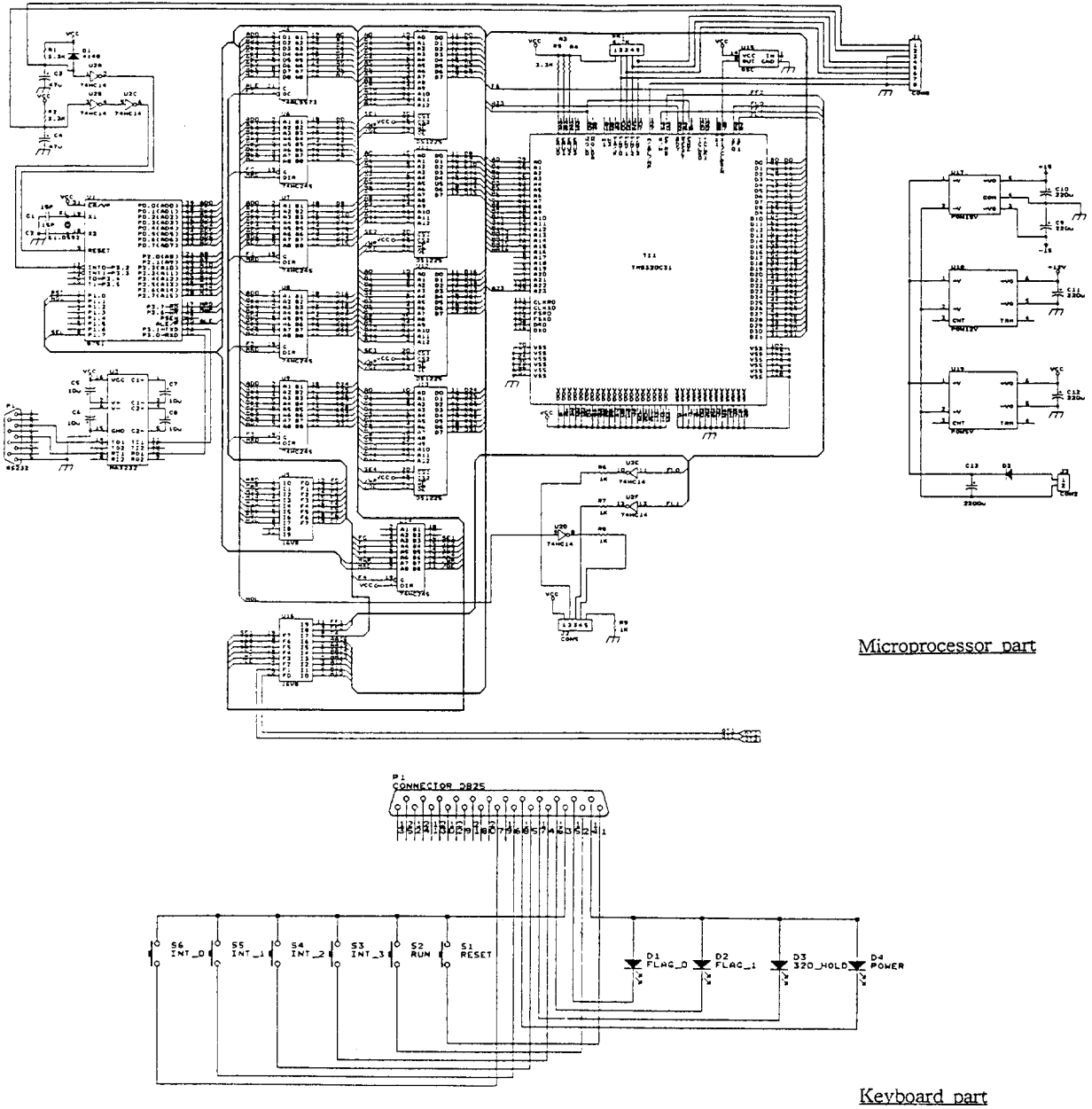


Fig. 11 Electrical circuit diagram of the developed digital signal processing unit (microprocessor and keyboard part)

